

Research Programme of the Research Fund for Coal and Steel

Steel RTD

*Project carried out with a financial grant of the  
Research Programme of the Research Fund for Coal and Steel*

**Deliverable 3.1**

Translations of technical sheets and working examples

Technical Group  
TGS 8 “Steel products and applications for buildings, construction and industry”

**STEEL-EARTH: Steel-based applications in earthquake-prone areas**

Project Acronym	STEEL-EARTH
Grant Agreement Number:	Contract N° RFS2-CT-2014-00022
Coordinator:	Silvia Caprili, University of Pisa
Authors:	All partners – see inside for specific contributions
Start Date:	01/07/2014
Ed Date:	31/12/2015

# STRUCTURES MÉTALLIQUES PRÉFABRIQUÉES POUR BÂTIMENTS DE FAIBLE HAUTEUR EN ZONE SISMIQUE

## DESIGN OF STEEL CONCRETE COMMERCIAL BUILDINGS BRACED BY PREFABRICATED REINFORCED CONCRETE WALL SYSTEMS ALSO COUPLED WITH ENHANCED DISSIPATIVE SYSTEMS

### WORKING EXAMPLE

*Loris Bianco, Roberta Mallardo, Pietro Filipuzzi (Ferriere Nord S.p.A)*

#### 1. Introduction

Les paragraphes suivants décrivent la contribution de Ferriere Nord SpA (FeNO) au projet de recherches *Precastel*. Cette contribution porte sur l'application de la procédure de préconception détaillée dans le document « STEEL-EARTH project - WP1 - Technical sheet » à des cas d'étude spécifiques.

Un résumé des principales caractéristiques de deux bâtiments commerciaux sélectionnés est donné. En particulier, les principaux résultats de la préconception d'un système de doubles dalles et de murs en béton armé préfabriqué sont fournis. Ce système constitue une alternative aux contreventements.

#### 2. Cas d'étude n°1 (murs en béton armée dissipatifs)

Le bâtiment considéré est un bâtiment commercial de deux étages possédant chacun une surface de (voir Figure 1) :

$$A_{CBs} = D \times L = 36 \times 50 = 1800 \text{ m}^2$$

Tout d'abord, les charges variables appliquées sur la structure du bâtiment sont :

$$Q_{k1} = 5 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{charges variables classiques, sur le premier niveau})$$

$$Q_{k2} = 2 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{charges variables de neige, sur le second niveau})$$

Le niveau de sismicité du site (PGA, accélération au rocher) est :

$$a_g = 0.32 \text{ g} \quad (\text{région de sismicité élevée})$$

La distribution des forces selon les niveaux est, étant donné le nombre d'étages et la nature des actions (séisme), de type « C ». La classe de ductilité de la structure est supposée haute (classe DCH) pour des structures dissipatives sous charges cycliques induites par un tremblement de terre. L'estimation correcte du coefficient de comportement « q » dépend de la classe de ductilité et des propriétés géométriques des murs en béton armé (hauteur du niveau, longueur, épaisseur :

$$H = 5.00 \text{ m} \quad (\text{hauteur entre étages})$$

$$B = 6.00 \text{ m} \quad (\text{longueur des murs en béton armé})$$

$$s = 0.25 \text{ m} \quad (\text{épaisseur des murs en béton armé})$$

Ensuite selon les recommandations de l'*Eurocode 8*, le coefficient de comportement est pris égal à :

$$q = 3.56 \quad (\text{coefficient de comportement})$$

L'affinage des données relatives aux charges de cisaillement horizontal (séisme, vent) par pas de 250 kN conduit à la meilleure valeur suivante pour le mur en béton armé dissipatif :

$$V_b = 1250 \text{ kN} \quad (\text{cisaillement en base d'un seul mur en béton armé})$$

Ce qui se rapporte à une aire de mur de :

$$A_{\text{wall}} = 444 \text{ m}^2$$

Finalement, le nombre de murs dissipatifs pour chaque niveau et direction (X, Y) est :

$$n_{\text{wall}} = A_{\text{CBs}} / A_{\text{wall}} = 1800 / 444 \approx 4$$

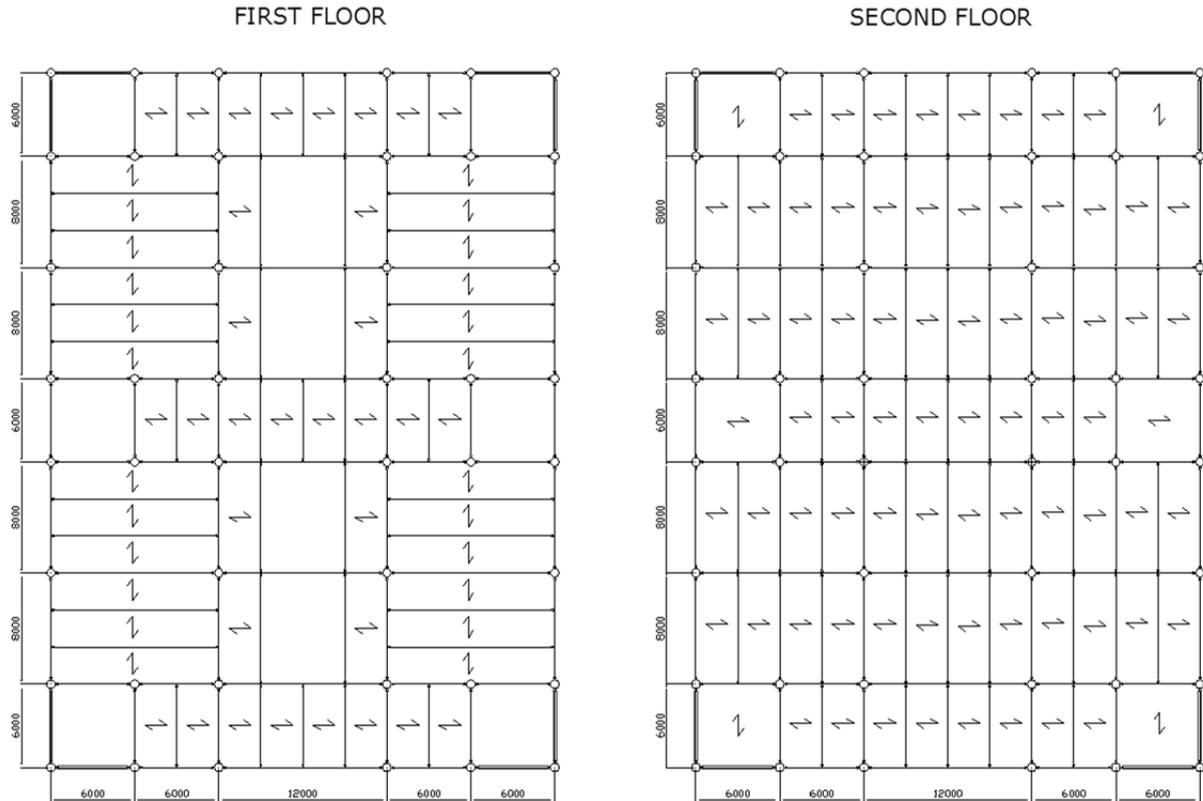


Figure 1 : Cas d'étude n°1 (murs en béton armé dissipatifs).

Est donné, ci-après, un bref résumé de la conception structurale et des principales vérifications à l'état limite ultime (ELU) selon suggestions et recommandations des *Eurocode 2* et *Eurocode 8* :

**Propriétés matérielles :**

béton C30/37 ( $R_{ck}=37$  MPa;  $f_{ck}=30$  MPa;  $f_{cd}=15.94$  MPa)

acier B450C ( $f_{yk}=450$  MPa;  $f_{tk}=540$  MPa;  $f_{yd}=391$  MPa)

**Propriétés géométriques:**

$s = 0.25$  m (épaisseur efficace du mur en béton armé)

$B = 6.00$  m (longueur du mur)

$H = 5.00$  m (hauteur entre étages)

**Sollicitations et vérifications (ELU) du le système de murs en béton armé :**

Moment fléchissant  $\rightarrow M_{Ed} = (0.38 \cdot 1250) \cdot 5.00 + (0.62 \cdot 1250) \cdot 10.00 = 10125$  kNm  $M_{Rd} = 11524$  kNm

Cisaillement  $\rightarrow V_{Ed} = 1.5 \cdot V_b = 1875$  kN  $\leq V_{Rd} = \min(V_{Rsd}, V_{Rcd}) = 1889$  kN

Les vérifications à l'ELU ci-dessus donnent lieu aux schémas d'armaturages détaillés dans les dessins techniques suivants (Figure 2), où:

$A_{s,\text{moment fléchissant}} = 11+11\varnothing 14$  (région critique, zone confinée  $l_c = 0.15 \cdot B = 0.90$  m)

$A_{s,\text{cisaillement}} = 1\varnothing 8/10\text{cm}$

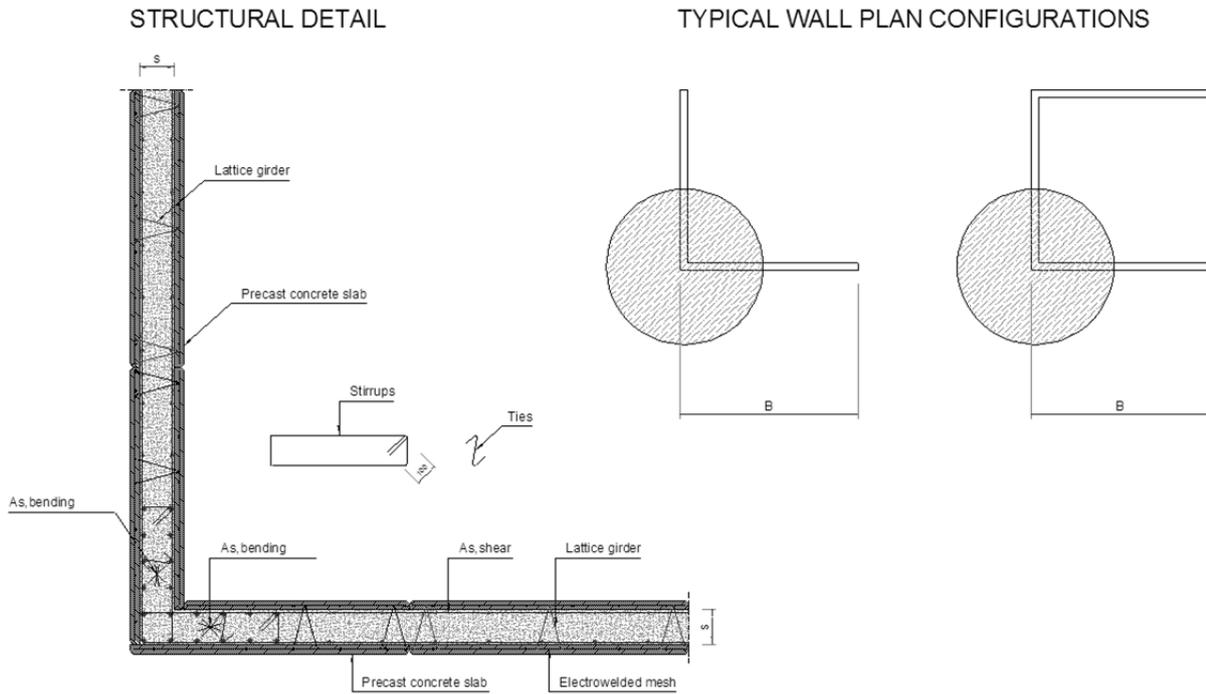


Figure 2: Détail du coin d'un mur en béton armé typique du système de contreventement et configuration classique en plan (vue du dessus).

Les figures suivantes décrivent des détails structuraux typiques pour le système de murs, à savoir :

- Détail structural de la connexion entre un mur en béton armé et la dalle en béton armé préfabriquée (Figure 3),
- Détail structural de la connexion entre un mur en béton armé et sa fondation (Figure 4).

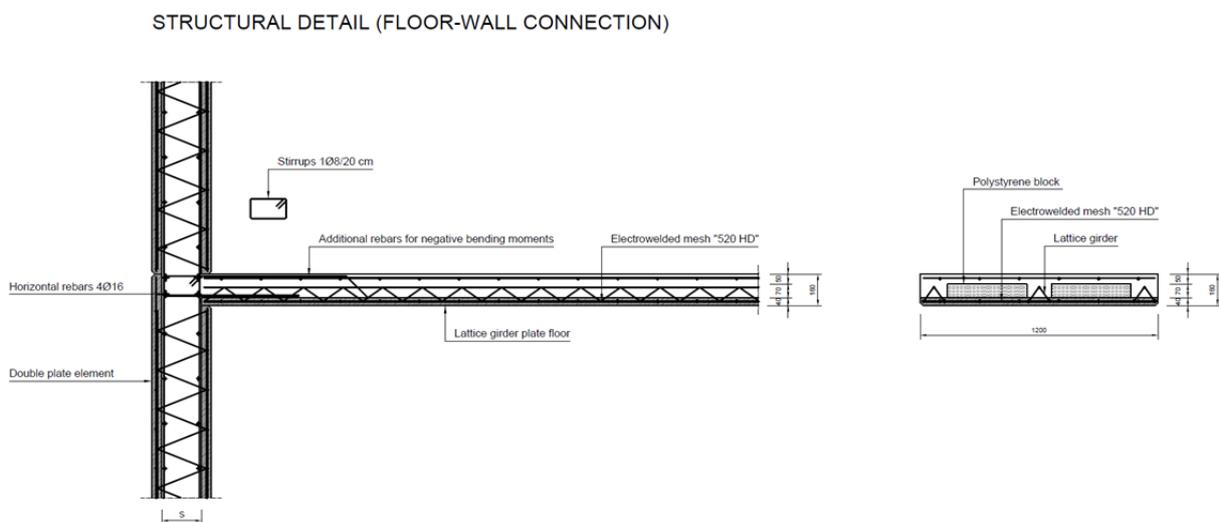


Figure 3: Détail structural typique pour la connexion entre un mur en béton armé et la dalle préfabriquée (coupe en élévation verticale).

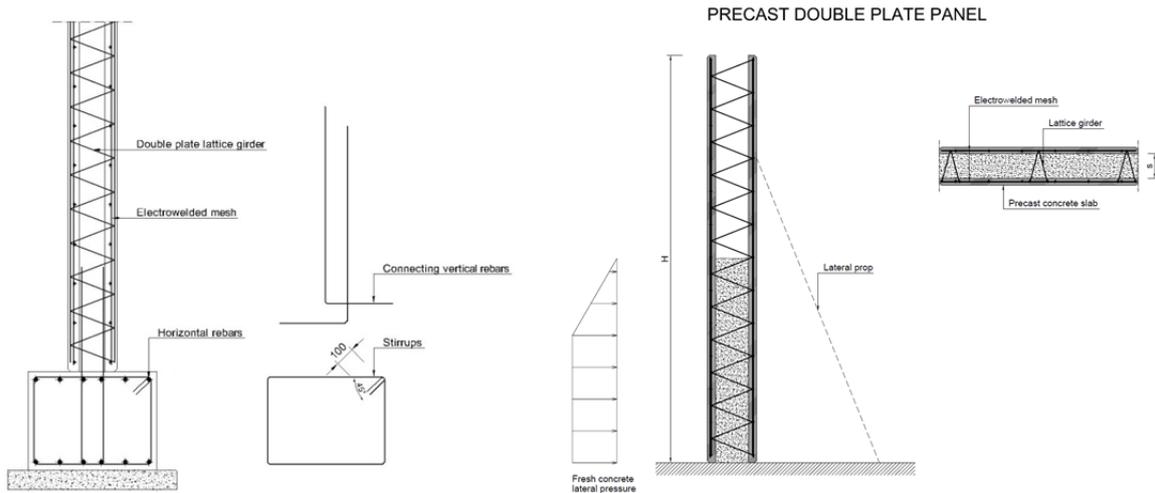


Figure 4: Détail structurel typique pour la connexion entre un mur en béton armé et sa fondation (coupe en élévation verticale).

Concernant les détails structurels entre la structure principale en acier (poutres, poteaux) et les murs en béton armé, il existe deux possibilités :

Connexion avec découplage des charges horizontales et verticales

Dans ce cas, il est nécessaire d'ajouter des poutres auxiliaires afin de transférer les charges gravitaires vers les poteaux principales en acier. Cet ajout sert à relier le système de contreventement (en béton armé) au portique en acier tout en découplant les charges horizontales et verticales (Figure 5).

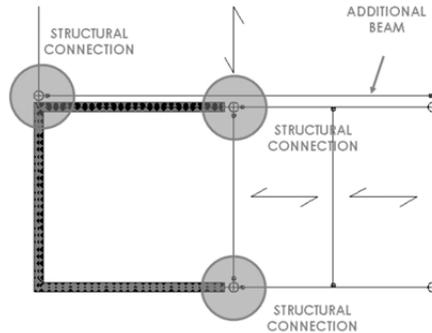


Figure 5: Connexion entre la structure en acier et les murs en béton armé avec découplage des charges horizontales et verticales (vue en plan).

Connexion des charges horizontales et verticales

Dans ce cas, aucun dispositif supplémentaire n'est requis. Le système de contreventement en béton armé est directement connecté au portique en acier. Les murs peuvent alors supporter les charges verticales sans compromettre leur comportement au séisme (Figure 6).

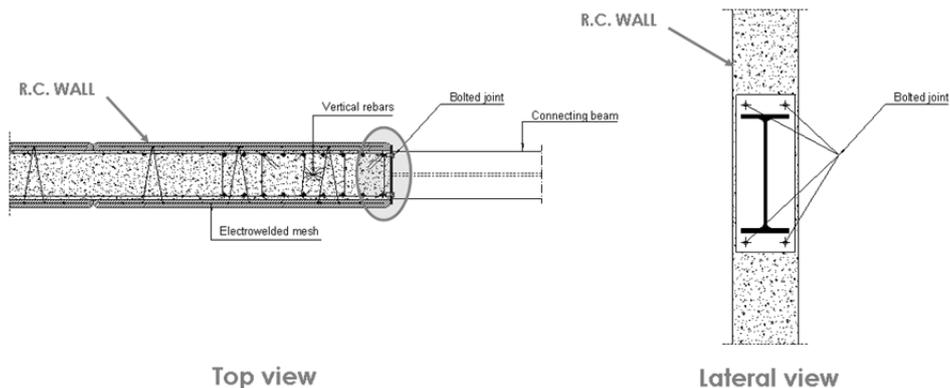


Figure 6: Connexion entre la structure en acier et les murs en béton armé pour les charges horizontales et verticales.

Les connexions entre la structure en acier (poutres, poteaux) et les murs en béton armé servant de contreventement peut être réalisé facilement à l'aide d'ancrage chimique ou mécanique, après la mise en place de la structure en béton armé. Une autre façon de réaliser ces connexions est le boulonnage. Cette technique demande cependant de prévoir, au préalable et avant la coulée du béton, les emplacements pour les boulons. Si la structure principale est isolée par des appareils dissipatifs à chaque niveau, il est nécessaire de prévoir des joints métalliques spécifiques pour empêcher le martelage entre le système de murs et les dalles de la structure.

### 3. Cas d'étude n°2 (murs en béton armée dissipatifs)

Le bâtiment commercial considéré dans cet exemple possède deux étages dont la surface vaut (Figure 7) :

$$A_{CBs} = D \times L = 36 \times 66 = 2376 \text{ m}^2$$

Tout d'abord, les charges variables appliquées sur la structure du bâtiment sont :

$$Q_{k1} = 5 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{charges variables classiques, sur le premier niveau})$$

$$Q_{k2} = 2 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{charges variables de neige, sur le second niveau})$$

Le niveau de sismicité du site (PGA, accélération au rocher) est :

$$a_g = 0.32 \text{ g} \quad (\text{région de sismicité élevée})$$

La distribution des forces selon les niveaux est, étant donné le nombre d'étages et la nature des actions (séisme), de type « C ». La classe de ductilité de la structure est supposée haute (classe DCH) pour des structures dissipatives sous charges cycliques induites par un tremblement de terre. L'estimation correcte du coefficient de comportement « q » dépend de la classe de ductilité et des propriétés géométriques des murs en béton armé (hauteur du niveau, longueur, épaisseur :

$$H = 5.00 \text{ m} \quad (\text{hauteur entre étages})$$

$$B = 6.00 \text{ m} \quad (\text{longueur des murs en béton armé})$$

$$s = 0.25 \text{ m} \quad (\text{épaisseur des murs en béton armé})$$

Ensuite selon les recommandations de l'*Eurocode 8*, le coefficient de comportement est pris égal à :

$$q = 3.56 \quad (\text{coefficient de comportement})$$

L'affinage des données relatives aux charges de cisaillement horizontal (séisme, vent) par pas de 250 kN conduit à la meilleure valeur suivante pour le mur en béton armé dissipatif :

$$V_b = 1750 \text{ kN} \quad (\text{cisaillement en base d'un seul mur en béton armé})$$

Ce qui se rapporte à une aire de mur de  $A_{wall} = 618 \text{ m}^2$

Finalement, le nombre de murs dissipatifs pour chaque niveau et direction (X, Y) est :

$$n_{wall} = A_{CBs} / A_{wall} = 2376 / 618 \approx 4$$

Se référant aux recommandations des *Eurocode 2* et *Eurocode 8*, voici un résumé de la conception structurelle et des principales vérifications à l'état limite ultime (ELU) des murs :

#### Propriétés matérielles :

béton C30/37 ( $R_{ck}=37 \text{ MPa}$ ;  $f_{ck}=30 \text{ MPa}$ ;  $f_{cd}=15.94 \text{ MPa}$ )

acier B450C ( $f_{yk}=450 \text{ MPa}$ ;  $f_{tk}=540 \text{ MPa}$ ;  $f_{yd}=391 \text{ MPa}$ )

#### Propriétés géométriques:

$s = 0.25 \text{ m}$  (épaisseur efficace du mur en béton armé)

$B = 6.00 \text{ m}$  (longueur du mur)

$H = 5.00 \text{ m}$  (hauteur entre étages)

**Sollicitations et vérifications (ELU) du le système de murs en béton armé :**

Moment fléchissant  $\rightarrow M_{Ed} = (0.38 \cdot 1750) \cdot 5.00 + (0.62 \cdot 1750) \cdot 10.00 = 14175 \text{ kNm}$   $\square M_{Rd} = 15384 \text{ kNm}$

Cisaillement  $\rightarrow V_{Ed} = 1.5 \cdot V_b = 2625 \text{ kN}$   $\delta V_{Rd} = \min(V_{Rsd}, V_{Rcd}) = 2699 \text{ kN}$

Les vérifications à l'ELU ci-dessus donnent lieu aux schémas d'armaturages détaillés dans les dessins techniques suivants (Figure 2), où:

$A_{s, \text{moment fléchissant}} = 12 + 12 \varnothing 20$  (région critique, zone confinée  $l_c = 0.15 \cdot B = 0.90 \text{ m}$ )

$A_{s, \text{cisaillement}} = 1 \varnothing 10 / 10 \text{ cm}$

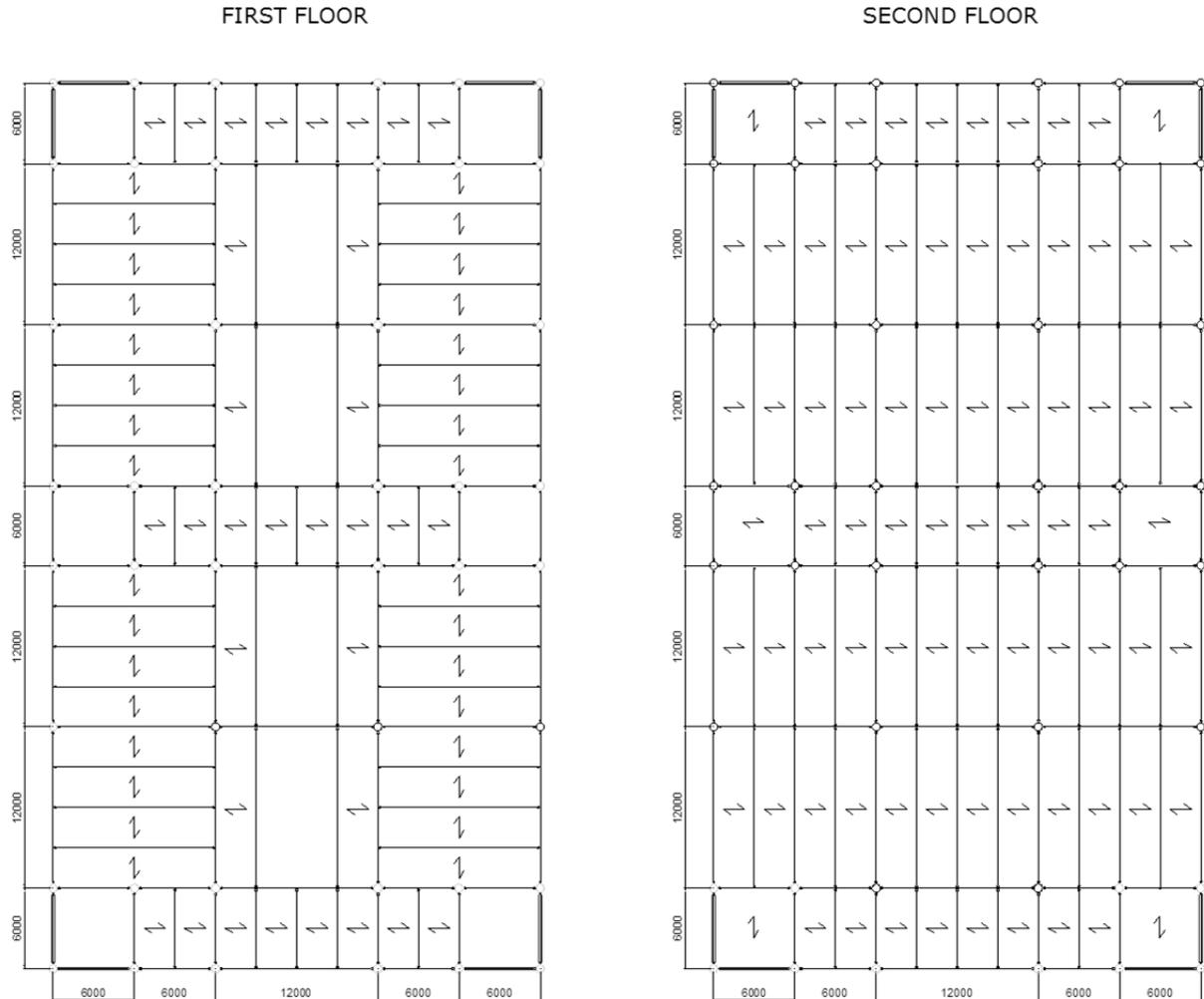


Figure 7: Cas d'étude n°2 (murs en béton armé dissipatifs).

#### 4. Cas d'étude n°3 (appareils dissipatifs + murs en béton armé « élastiques »)

Dans cette section, le cas d'étude n°1 est examiné en considérant que les murs en béton armé doivent rester dans leur phase élastique au cours des actions horizontales cycliques et que la plus grande partie de l'énergie induite par le séisme est dissipée dans des appareils spécifiques constitués de caoutchouc hautement amortissant (HDR), comme illustré à la Figure 8.

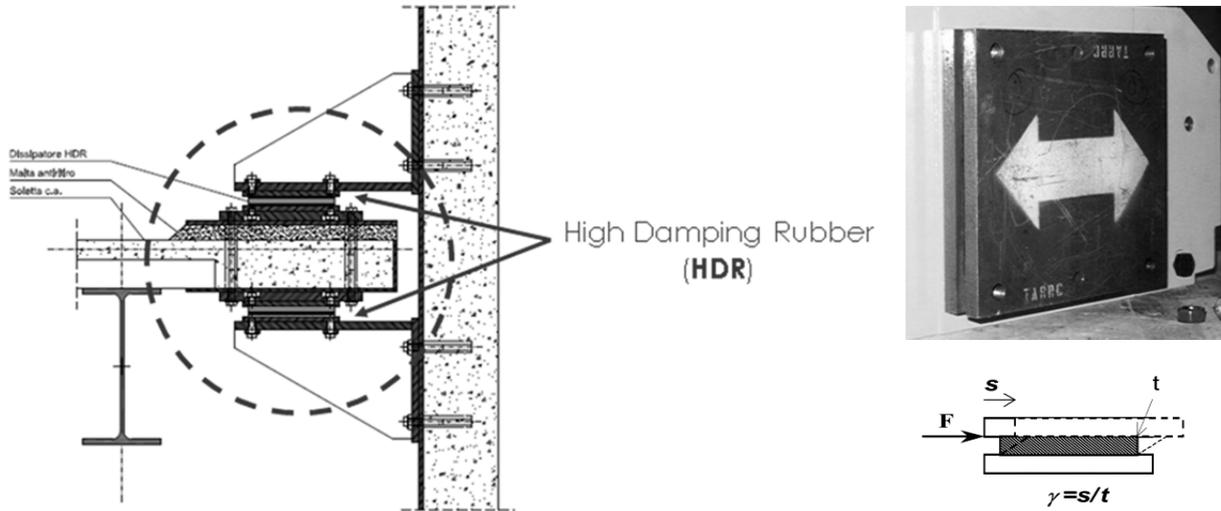


Figure 8: Amortisseur connecté au mur en béton armé (High Damping Rubber).

Le bâtiment commercial considéré dans cet exemple possède deux étages dont la surface vaut (Figure 1) :

$$A_{CBs} = D \times L = 36 \times 50 = 1800 \text{ m}^2$$

Tout d'abord, les charges variables appliquées sur la structure du bâtiment sont :

$$Q_{k1} = 5 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{charges variables classiques, sur le premier niveau})$$

$$Q_{k2} = 2 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{charges variables de neige, sur le second niveau})$$

Le niveau de sismicité du site (PGA, accélération au rocher) est :

$$a_g = 0.32 \text{ g} \quad (\text{région de sismicité élevée})$$

La distribution des forces selon les niveaux est, étant donné le nombre d'étages et la nature des actions (séisme), de type « C ». La classe de ductilité de la structure est supposée faible (classe DCL) pour des structures dissipatives sous charges cycliques induites par un tremblement de terre. L'estimation correcte du coefficient de comportement « q » dépend de la classe de ductilité et des propriétés géométriques des murs en béton armé (hauteur du niveau, longueur, épaisseur :

$$H = 5.00 \text{ m} \quad (\text{hauteur entre étages})$$

$$B = 4.50 \text{ m} \quad (\text{longueur des murs en béton armé})$$

$$s = 0.25 \text{ m} \quad (\text{épaisseur des murs en béton armé})$$

Le coefficient de comportement est, dans ce cas, pris égal à :

$$q = 1.00 \quad (\text{coefficient de comportement})$$

Les forces horizontales à la base de chaque niveau et pour les deux directions (X, Y) sont ;

$$F_{X,1} = 280 \text{ kN}$$

$$F_{X,2} = 360 \text{ kN}$$

$$F_{Y,1} = 320 \text{ kN}$$

$$F_{Y,2} = 400 \text{ kN}$$

Dans le cas d'un mur dans la direction Y (plus sollicité que dans la direction X),

Un résumé de la conception structurelle et des principales vérifications à l'état limite ultime (ELU) des murs est détaillé ci-dessous dans le cas d'un mur dans la direction Y (plus sollicité que dans la direction X). Les règles de l'*Eurocode 2* sont utilisées.

**Propriétés matérielles :**

béton C30/37 ( $R_{ck}=37$  MPa;  $f_{ck}=30$  MPa;  $f_{cd}=15.94$  MPa)

acier B450C ( $f_{yk}=450$  MPa;  $f_{tk}=540$  MPa;  $f_{yd}=391$  MPa)

**Propriétés géométriques:**

$s = 0.25$  m (épaisseur efficace du mur en béton armé)

$B = 4.50$  m (longueur du mur)

$H = 5.00$  m (hauteur entre étages)

**Sollicitations et vérifications (ELU) du le système de murs en béton armé :**

Moment fléchissant  $\rightarrow M_{Ed} = 320 \cdot 5.00 + 400 \cdot 10.00 = 5600$  kNm  $\square M_{Rd} = 5770$  kNm

Cisaillement  $\rightarrow V_{Ed} = V_b = 320 + 400 = 720$  kN  $\square V_{Rd} = \min(V_{Rsd}, V_{Rcd}) = 944$  kN

Les vérifications à l'ELU ci-dessus donnent lieu aux schémas d'armaturages détaillés dans les dessins techniques suivants (Figure 9), où:

$A_{s,moment\ fléchissant} = 9+9\varnothing 16$

$A_{s,cisaillement} = 1\varnothing 8/15cm$

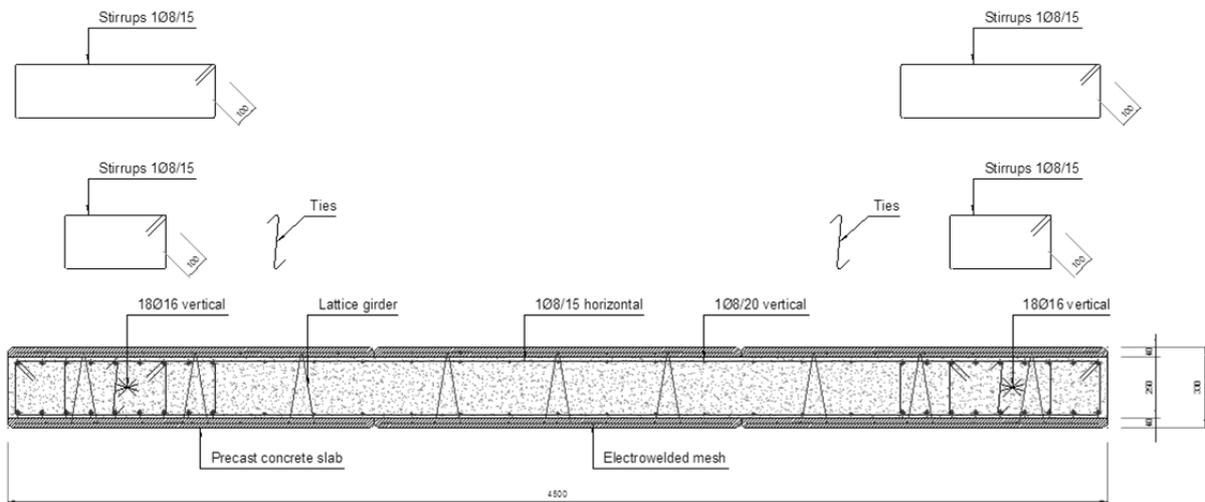


Figure 9: Dessin technique pour le mur en béton armé (cas d'étude n°1, appareils dissipatifs couplés aux murs).

### 5. Cas d'étude n°3 (comparaison entre le système de contreventement avec des murs en béton armé *FeNO* et le système en acier *UniCAM*)

Un bâtiment à deux niveaux, également analysé dans UniCAM comme exemple de travail pour un système de contreventement excentré en acier, est considéré. Les niveaux du bâtiment ont chacun une surface de :

$$A_{CBs} = D \times L = 36 \times 66 = 2376 \text{ m}^2$$

Tout d'abord, les charges variables appliquées sur la structure du bâtiment sont :

$$Q_{k1} = 5 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{charges variables classiques, sur le premier niveau})$$

$$Q_{k2} = 2 \text{ kN/m}^2 \quad (\text{charges variables de neige, sur le second niveau})$$

Le niveau de sismicité du site (PGA, accélération au rocher) est :

$$a_g = 0.32 \text{ g} \quad (\text{région de sismicité élevée})$$

La distribution des forces selon les niveaux est, étant donné le nombre d'étages et la nature des actions (séisme), de type « C ». La classe de ductilité de la structure est supposée moyenne (classe DCM) pour des structures dissipatives sous charges cycliques induites par un tremblement de terre. L'estimation correcte du coefficient de comportement « q » dépend de la classe de ductilité et des propriétés géométriques des murs en béton armé (hauteur du niveau, longueur, épaisseur :

$$H = 5.00 \text{ m} \quad (\text{hauteur entre étages})$$

$$B = 6.00 \text{ m} \quad (\text{longueur des murs en béton armé})$$

$$s = 0.25 \text{ m} \quad (\text{épaisseur des murs en béton armé})$$

Ensuite selon les recommandations de l'*Eurocode 8*, le coefficient de comportement est pris égal à :

$$q = 2.67 \quad (\text{coefficient de comportement})$$

L'affinage des données relatives aux charges de cisaillement horizontal (séisme, vent) par pas de 100 kN conduit à la meilleure valeur suivante pour le mur en béton armé dissipatif :

$$V_b = 1300 \text{ kN} \quad (\text{cisaillement en base d'un seul mur en béton armé})$$

Ce qui se rapporte à une aire de mur de :

$$A_{\text{wall}} = 606 \text{ m}^2$$

Finalement, le nombre de murs dissipatifs pour chaque niveau et direction (X, Y) est :

$$n_{\text{wall}} = A_{CBs} / A_{\text{wall}} = 2376 / 606 \approx 4$$

ce qui correspond au même nombre que la solution UniCAM pour ce même bâtiment, bien que, dans ce cas, il est possible de réduire jusqu'à 50% l'extension de la solution de contreventement en acier (longueur  $B = 12.00 \text{ m}$  pour l'exemple UniCAM), impliquant une épargne important en termes de coûts globaux.

Dans la suite, le modèle « éléments finis » est brièvement illustré. Ce modèle est implémenté de la même manière que l'exemple UniCAM, sauf pour le système de contreventement qui est fait de murs en béton armé au lieu d'acier). La même géométrie, les mêmes conditions limites, les mêmes conditions de relâchement, les mêmes cas et mêmes combinaisons de charges sont considérés. Il est intéressant de remarquer que la préconception selon la procédure *Precasteel* est parfaitement fiable et que ce modèle structurel raffiné est capable de valider ladite procédure. En réalité, l'erreur d'estimation fournie par la procédure *Precasteel* ne dépasse pas 15%, cette valeur comprend toutes les simplifications en termes d'hypothèses structurelles. Dans le cas d'une analyse sous action sismique, cela comprend l'hypothèse que la structure se déforme selon son premier mode de vibration, l'influence des excentricités accidentelles, la combinaison des charges orthogonales, etc. Il est également important de souligner un autre avantage structurel important qui apparaît pour la solution de contreventement avec murs en béton par rapport à celle en acier : les six modes de vibrations (Figure 16 - Figure 21) sont réguliers en termes de masse participante alors que ceux-ci sont irréguliers et hydrides pour la solution avec acier.

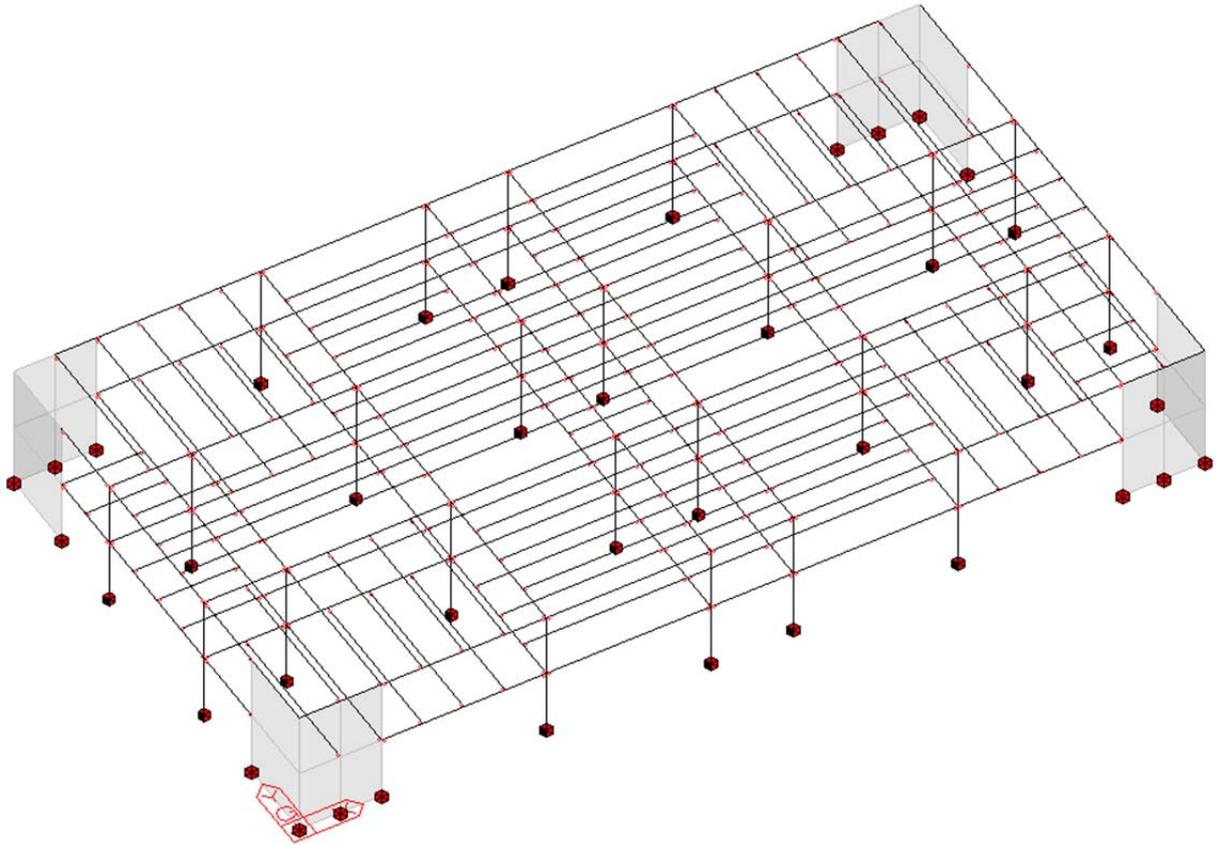


Figure 10: Cas d'étude n°3 (contreventements FeNO avec murs en béton armé pour un bâtiment commercial de 2 niveaux).

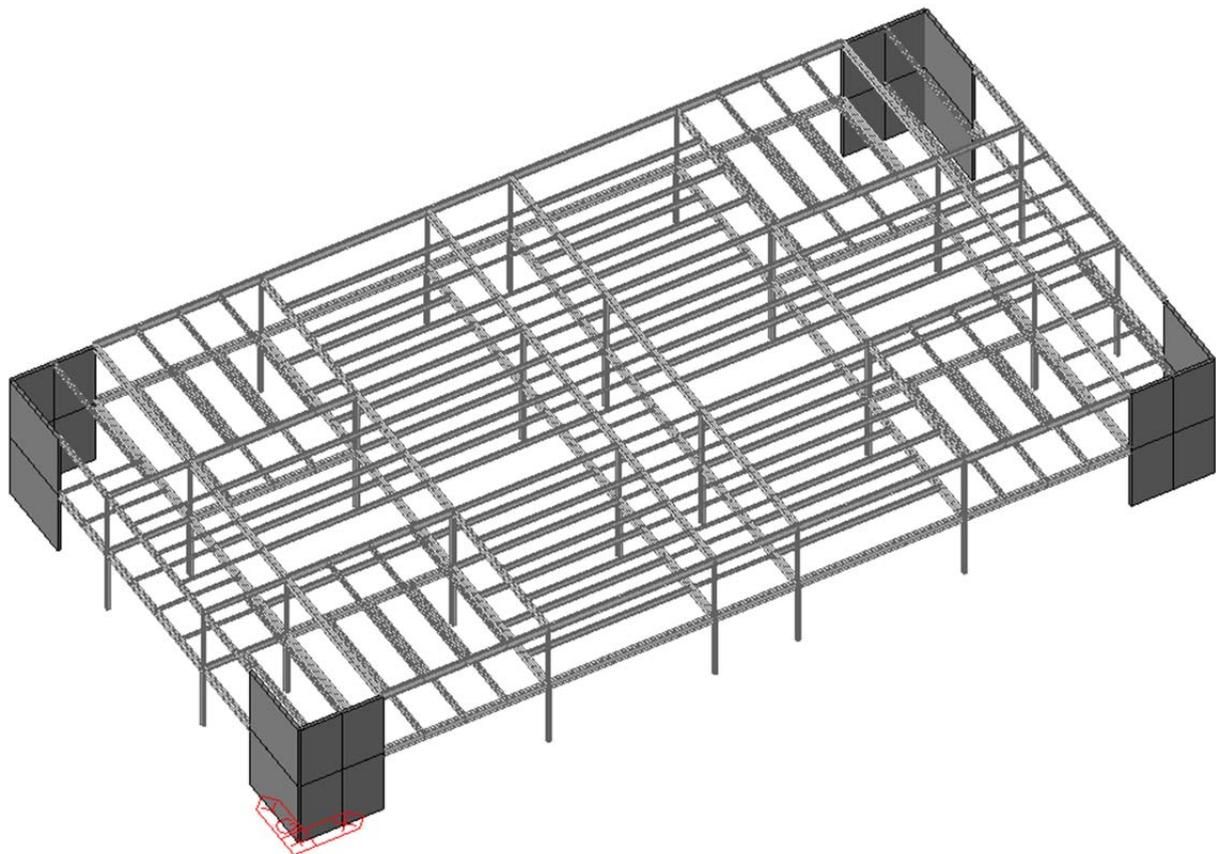


Figure 11: Cas d'étude n°3 (contreventements FeNO avec murs en béton armé pour un bâtiment commercial de 2 niveaux).



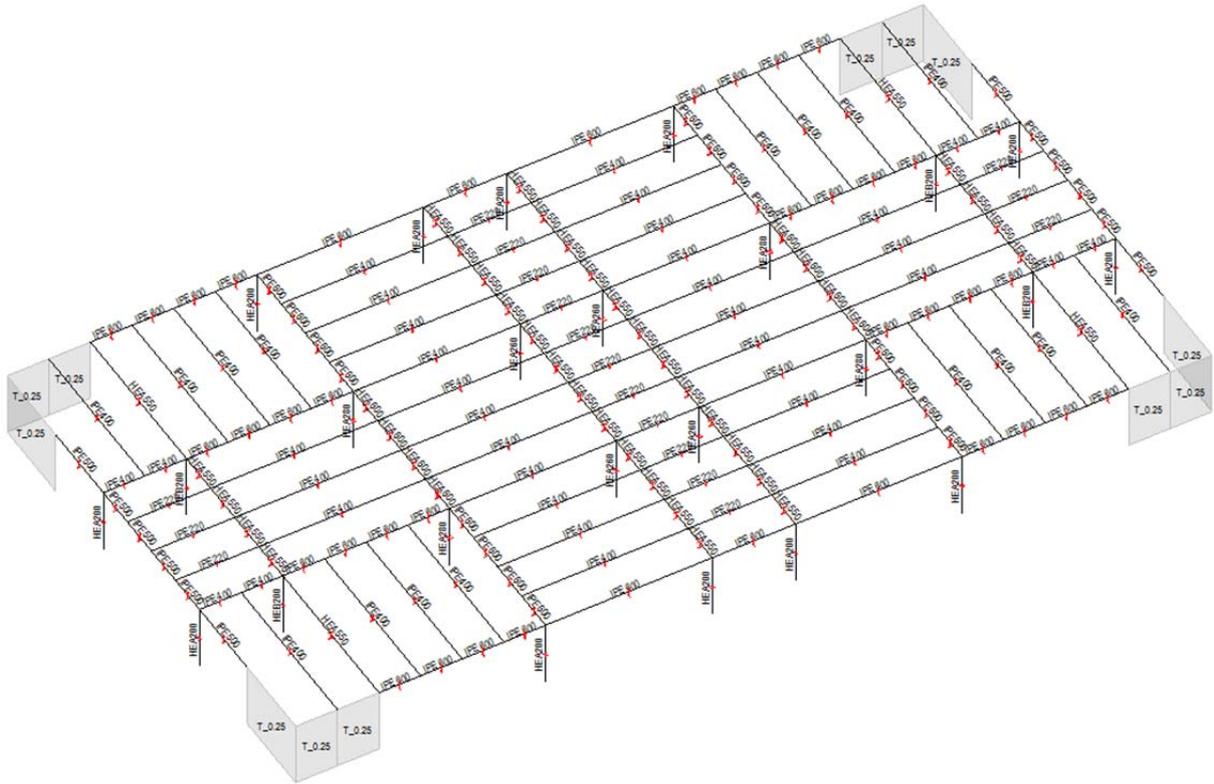


Figure 14: Cas d'étude n°3 (contreventements FeNO avec murs en béton armé – 2<sup>ème</sup> étage).

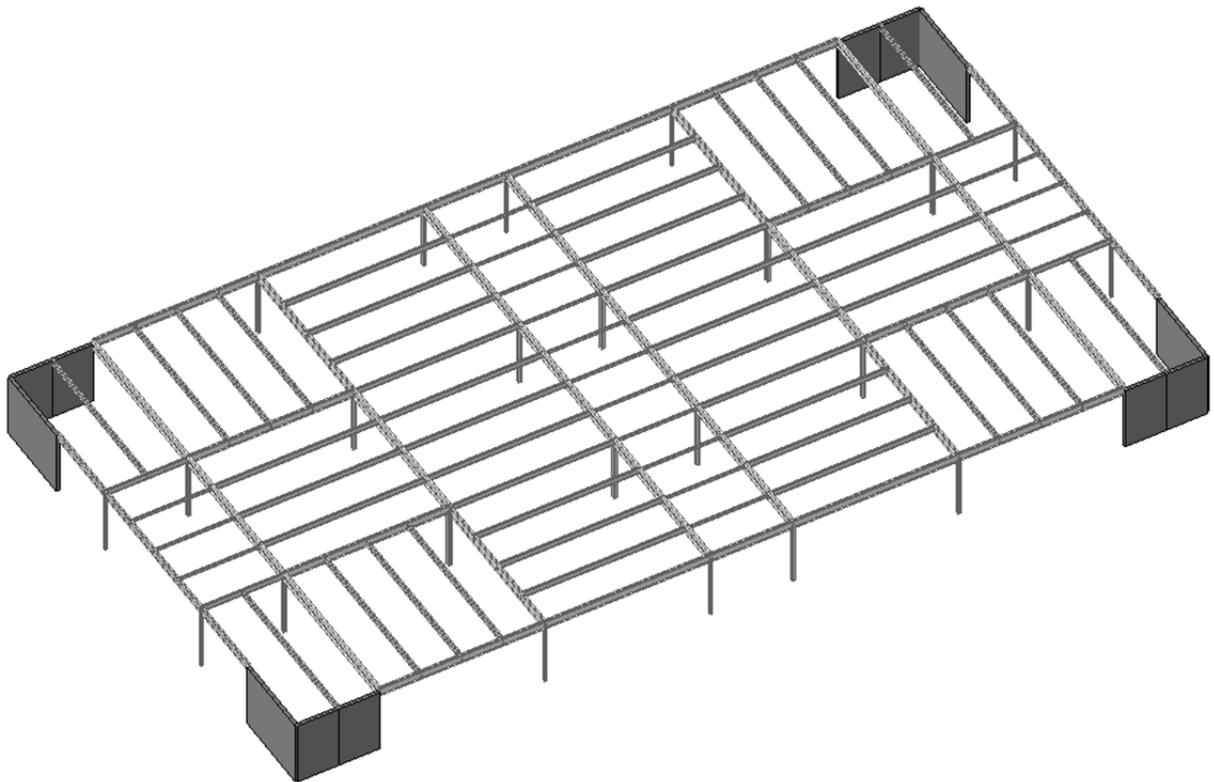


Figure 15: Cas d'étude n°3 (contreventements FeNO avec murs en béton armé – 2<sup>ème</sup> étage).

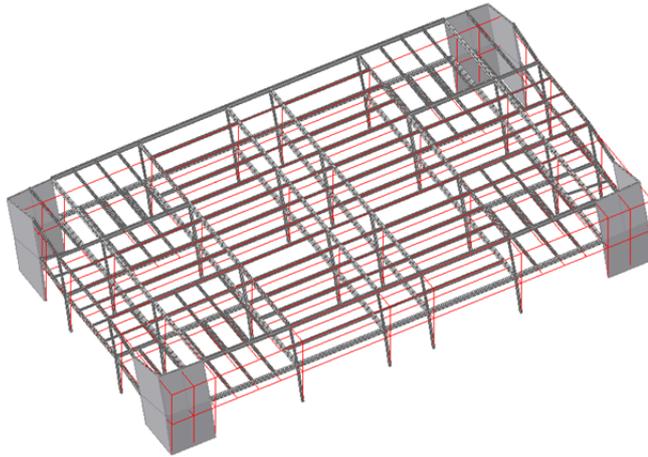


Figure 16: 1<sup>er</sup> mode de vibration (translation selon Y).

midas Gen	
POST-PROCESSOR	
VIBRATION MODE	
FREQUENCY (CYCLE/SEC)	6.637481
NATURAL PERIOD (SEC)	0.150660
MPM (%)	
DX=	0.000000
DY=	84.149562
DZ=	0.000000
RX=	0.000000
RY=	0.000000
RZ=	0.000000
Mode 1	
MAX :	179
MIN :	1
FILE:	SteelEarth-
UNIT:	[cps]
DATE:	06/22/2015
VIEW-DIRECTION	
X:	-0.354
Y:	-0.612
Z:	0.707

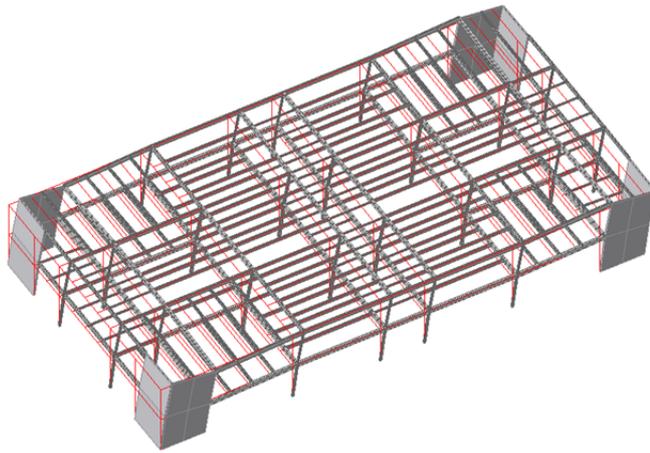


Figure 17: 2<sup>eme</sup> mode de vibration (translation selon X).

midas Gen	
POST-PROCESSOR	
VIBRATION MODE	
FREQUENCY (CYCLE/SEC)	6.664863
NATURAL PERIOD (SEC)	0.150041
MPM (%)	
DX=	84.218561
DY=	0.000000
DZ=	0.000000
RX=	0.000000
RY=	0.000000
RZ=	0.000100
Mode 2	
MAX :	172
MIN :	1
FILE:	SteelEarth-
UNIT:	[cps]
DATE:	06/22/2015
VIEW-DIRECTION	
X:	-0.354
Y:	-0.612
Z:	0.707

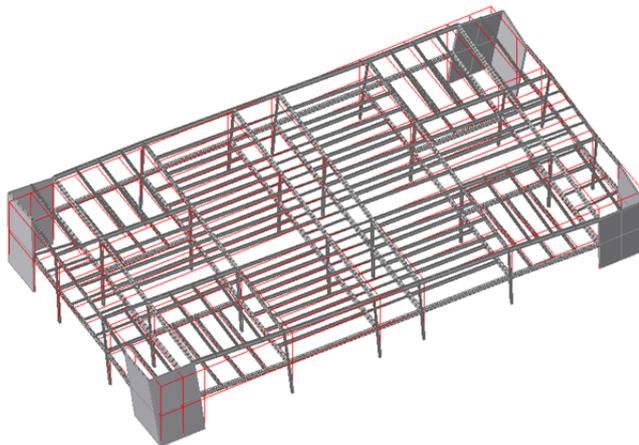
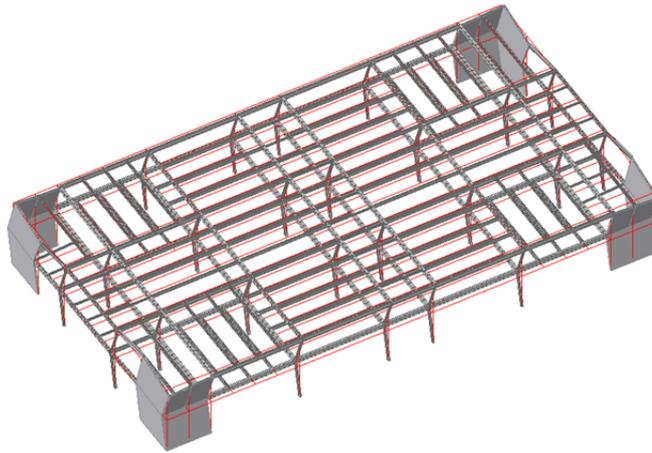


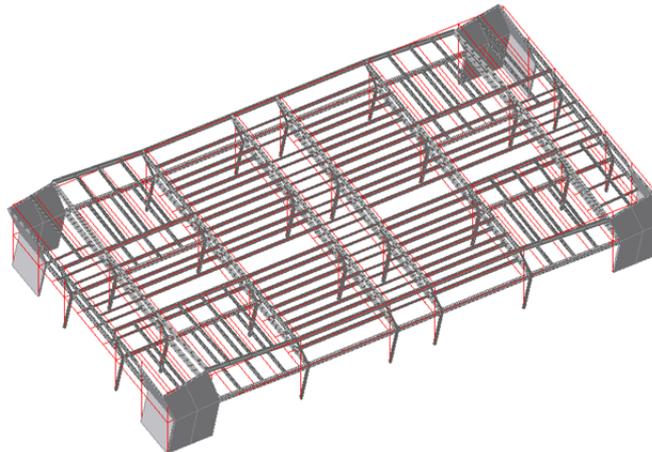
Figure 18: 3<sup>eme</sup> mode de vibration (rotation autour de Z).

midas Gen	
POST-PROCESSOR	
VIBRATION MODE	
FREQUENCY (CYCLE/SEC)	12.273631
NATURAL PERIOD (SEC)	0.081475
MPM (%)	
DX=	0.000288
DY=	0.000000
DZ=	0.000000
RX=	0.000000
RY=	0.000000
RZ=	87.007567
Mode 3	
MAX :	249
MIN :	1
FILE:	SteelEarth-
UNIT:	[cps]
DATE:	06/22/2015
VIEW-DIRECTION	
X:	-0.354
Y:	-0.612
Z:	0.707



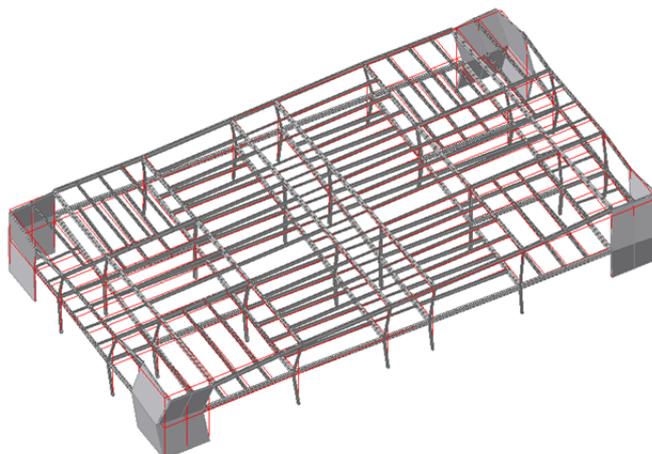
midas Gen	
POST-PROCESSOR	
VIBRATION MODE	
FREQUENCY (CYCLE/SEC)	21.239045
NATURAL PERIOD (SEC)	0.047083
MPM (%)	
DX=	0.000000
DY=	15.850438
DZ=	0.000000
RX=	0.000000
RY=	0.000000
RZ=	0.000000
Mode 4	
MAX :	179
MIN :	1
FILE:	SteelEarth-
UNIT:	[cps]
DATE:	06/22/2015
VIEW-DIRECTION	
X:	-0.354
Y:	-0.612
Z:	0.707

Figure 19: 4<sup>ème</sup> mode de vibration (translation selon Y).



midas Gen	
POST-PROCESSOR	
VIBRATION MODE	
FREQUENCY (CYCLE/SEC)	21.257765
NATURAL PERIOD (SEC)	0.047042
MPM (%)	
DX=	15.780820
DY=	0.000000
DZ=	0.000000
RX=	0.000000
RY=	0.000000
RZ=	0.000000
Mode 5	
MAX :	172
MIN :	1
FILE:	SteelEarth-
UNIT:	[cps]
DATE:	06/22/2015
VIEW-DIRECTION	
X:	-0.354
Y:	-0.612
Z:	0.707

Figure 20: 5<sup>ème</sup> mode de vibration (translation selon X).



midas Gen	
POST-PROCESSOR	
VIBRATION MODE	
FREQUENCY (CYCLE/SEC)	35.200346
NATURAL PERIOD (SEC)	0.028409
MPM (%)	
DX=	0.000331
DY=	0.000000
DZ=	0.000000
RX=	0.000000
RY=	0.000000
RZ=	12.992333
Mode 6	
MAX :	254
MIN :	1
FILE:	SteelEarth-
UNIT:	[cps]
DATE:	06/22/2015
VIEW-DIRECTION	
X:	-0.354
Y:	-0.612
Z:	0.707

Figure 21: 6<sup>ème</sup> mode de vibration (rotation autour de Z).

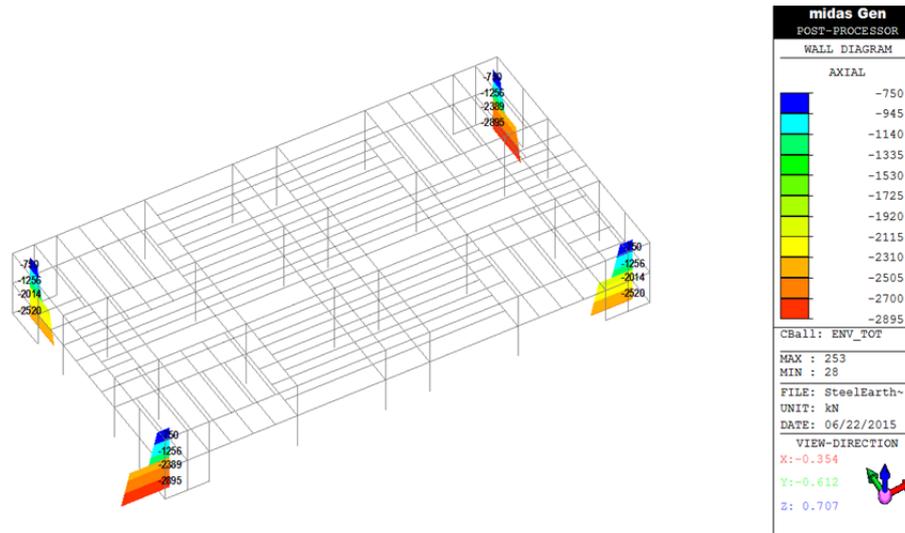


Figure 22: Enveloppe des résultats de combinaisons de charges à l'ELU (forces axiales sur contreventement en béton armée)

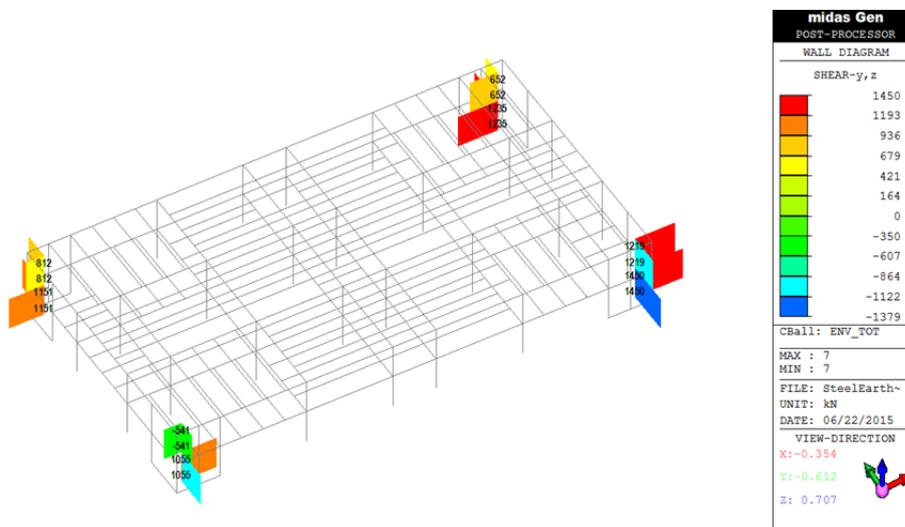


Figure 23: Enveloppe des résultats de combinaisons de charges à l'ELU (cisaillement sur contreventement en béton armée)

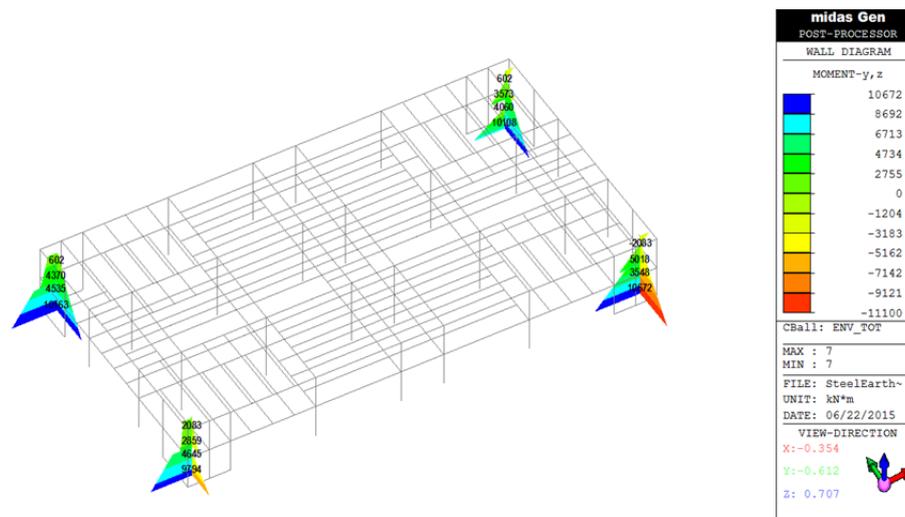


Figure 24: Enveloppe des résultats de combinaisons de charges à l'ELU (flexion sur contreventement en béton armée)

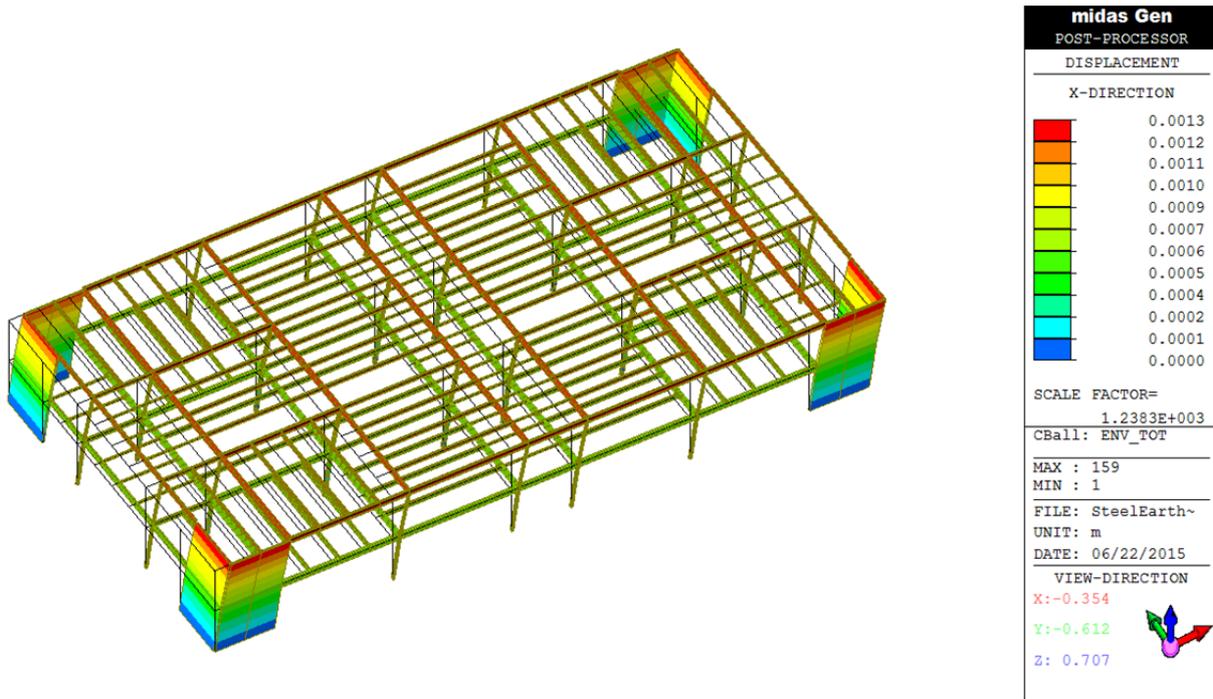


Figure 25: Enveloppe des résultats de combinaisons de charges à l'ELU (déplacements selon X)

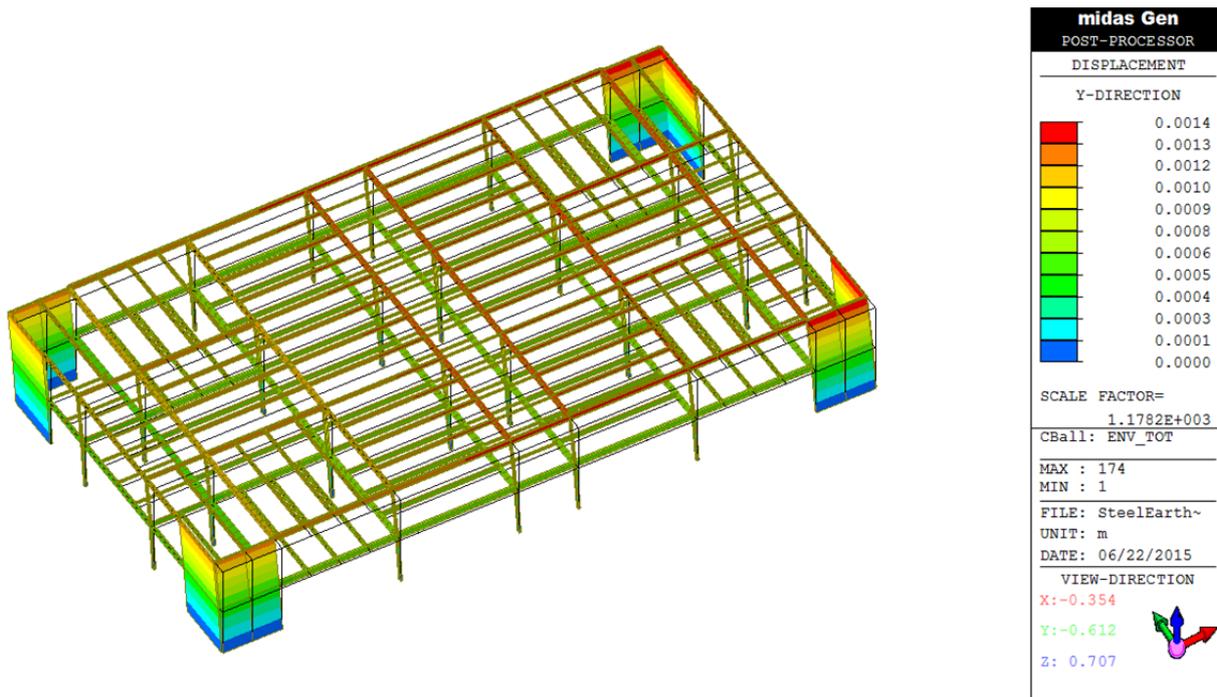


Figure 26: Enveloppe des résultats de combinaisons de charges à l'ELU (déplacements selon Y)

Se référant aux recommandations des *Eurocode 2* et *Eurocode 8*, voici un résumé de la conception structurelle et des principales vérifications à l'état limite ultime (ELU) des murs en béton armé :

**Propriétés matérielles :**

béton C30/37 ( $R_{ck}=37$  MPa;  $f_{ck}=30$  MPa;  $f_{cd}=15.94$  MPa)

acier B450C ( $f_{yk}=450$  MPa;  $f_{tk}=540$  MPa;  $f_{yd}=391$  MPa)

**Propriétés géométriques:**

$s = 0.25$  m (épaisseur efficace du mur en béton armé)

$B = 6.00$  m (longueur du mur)

$H = 5.00$  m (hauteur entre étages)

**Sollicitations et vérifications (ELU) du le système de murs en béton armé :**

Force axiale  $\rightarrow N_{Ed} = 2520$  kN (N.B.: la force de compression axiale est réduite jusqu'à 50%, du à la prise en compte d'un couplage vertical et horizontal des murs en béton armé)

Moment fléchissant  $\rightarrow M_{Ed} = 11100$  kNm  $\delta M_{Rd} = 12586$  kNm

Cisaillement  $\rightarrow V_{Ed} = 1.5 \cdot V_b = 1.5 \cdot 1450 = 2175$  kN  $\delta V_{Rd} = \min(V_{Rsd}, V_{Rcd}) = 2523$  kN

Les vérifications à l'ELU ci-dessus donnent lieu aux schémas d'armaturages détaillés dans les dessins techniques suivants (Figure 27), où:

$A_{s,moment\ fléchissant} = 7+7\varnothing16$  (région critique, zone confinée  $l_c = 0.15 \cdot B = 0.90$  m)

$A_{s,cisaillement} = 1\varnothing10/12.5cm$

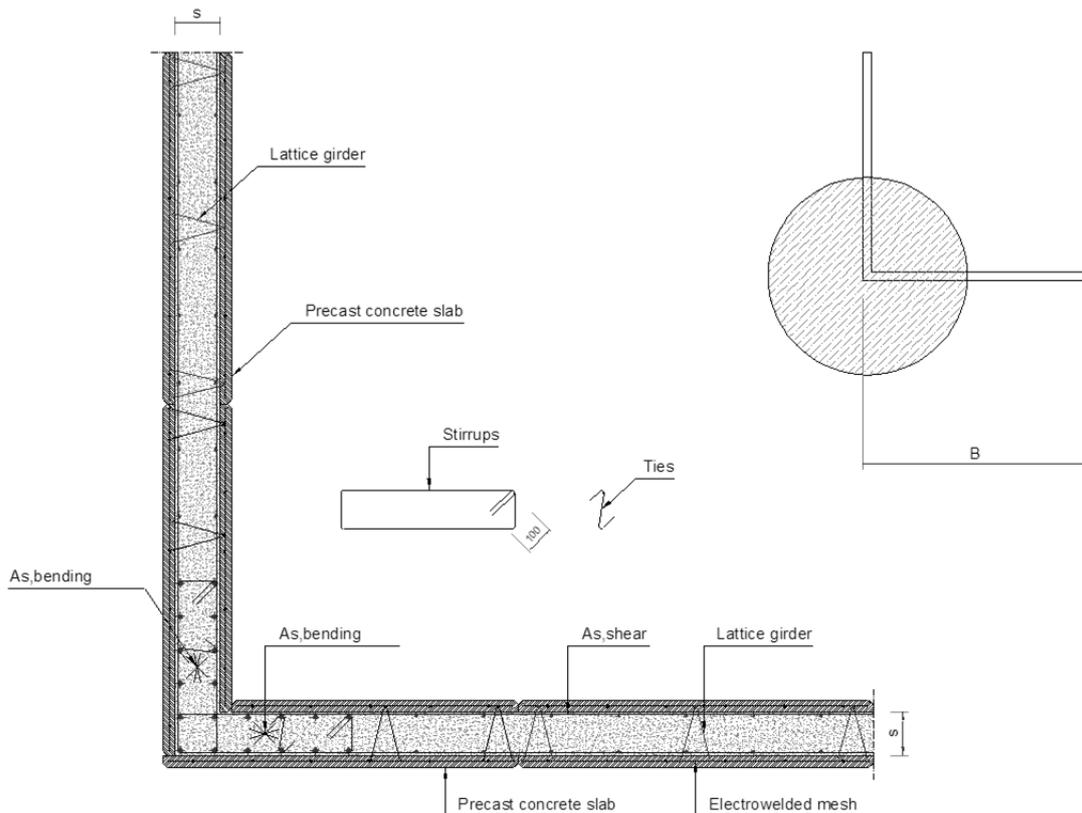


Figure 27: Détail du coin d'un mur en béton armé typique du système de contreventement et configuration classique en plan (vue du dessus).